

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ СВЕРХШИ-  
РОКОПОЛОСНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ  
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ**

Отузбаева Д.К.

Научный руководитель: Семенов Э.В., д.т.н., профессор  
ТУСУР, 634050 Россия, г.Томск, пр. Ленина, 40E-mail: [darina.30baeva@yandex.ru](mailto:darina.30baeva@yandex.ru)

В настоящее время импульсная техника получила широкое развитие в радиотехнике, электронике и вычислительной технике. Совершенствование импульсных функциональных устройств привело к росту требований к контрольно-измерительной аппаратуре, используемой на этапах проектирования и отладки систем. Используемые ранее универсальные малосигнальные S-параметры не позволяли точно описывать характеристики нелинейных элементов, работающих на импульсных сигналах.

Таким образом появилась необходимость в разработке аппаратуры, позволяющей одновременно работать с импульсными сигналами и проводить нелинейные измерения. Наиболее подходящими для данных целей являются векторные нелинейные анализаторы цепей с возможностью измерения так называемых X-параметров. Однако X-параметры приемлемы только случая воздействия на объект узкополосными сигналами.

Одним из альтернативных вариантов является использование в качестве нелинейного измерителя характериографа, измеряющего нелинейные вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики однопортовых устройств на импульсном сигнале с заданной конечной длительностью. Однако вопросы точности данного вида измерителя не решены, поэтому в данной статье предложен метод повышения метрологических свойств измерительной системы, путем использования тестовых импульсов разной формы [1].

Структурная схема характериографа приведена на рис. 1. Назначение и технические характеристики приведены в [2].

На рисунке 2 изображена схема, используемая для определения передаточной характеристики регистрирующего устройства, где  $\Gamma$  – генератор тестовых импульсов, РО – референсный осциллограф, РУ – регистрирующее устройство. Сигнал, зарегистрированный референсным осциллографом LeCroy, который работает с частотой выработки 10 Гвыб/с и имеет полосу пропускания 600 МГц будем считать сигналом, полученным с выхода генератора, а именно  $S_1(t)$ , тогда сигнал  $S_2(t)$  – сигнал, полученный с регистрирующего устройства.

В результате прохождения сигнала по измерительному тракту возникают различные искажения, чтобы найти степень их воздействия и дать количественную оценку погрешностей измерений, возникающих при их воздействии необходимо знать отклик системы на каждую форму импульсов. Для этого необходимо знать передаточную характери-

стику регистрирующего устройства PXI-5114 с частотой дискретизации 250 МВыб/с в реальном времени и 5 ГВыб/с в эквивалентном масштабе.

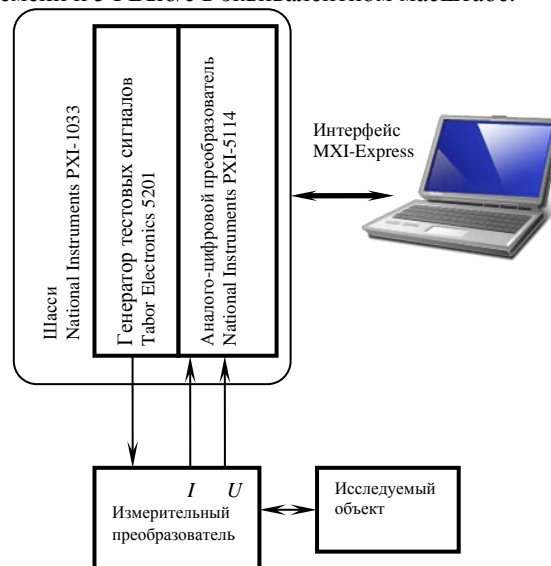


Рис. 1. Структурная схема системы для измерения ВАХ и ВФХ сверхширокополосным импульсом

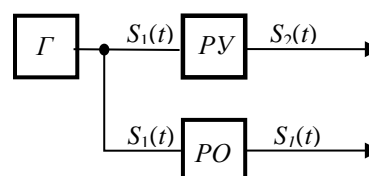


Рис. 2. Структурная схема определения передаточной функции регистрирующего устройства

На рисунке 3 показан график, где  $H(f)$  – передаточная функция исследуемого регистрирующего устройства PXI – 5114. Способ нахождения характеристики описан в [3].

Сигнал принятый регистрирующим устройством сдвинут во времени на величину группового времени запаздывания. Чтобы сравнить сигналы с генератора и регистрирующего устройства и дать количественную оценку систематической погрешности необходимо компенсировать групповое время запаздывания для этого найдем ФЧХ (фазо-частотная характеристика) (1).

$$\varphi = \text{Im}[H(\omega)] / \text{Re}[H(\omega)], \quad (1)$$

где  $\text{Im}(\cdot)$  – мнимая часть выражения,  $\text{Re}(\cdot)$  – действительная часть выражения в скобках.

Сигнал, принятый регистрирующим устройством отличается от переданного на величину  $\tau$  – группового времени запаздывания.

$$\tau = d\varphi / dt = \Delta\varphi / \Delta t = \left| \sum_{i=1}^n \frac{(\varphi_i - \varphi_{i+1})}{(t_i - t_{i+1})} \right|, \quad (2)$$

где  $n$  – количество отсчетов функции ФЧХ и вектора времени соответственно.

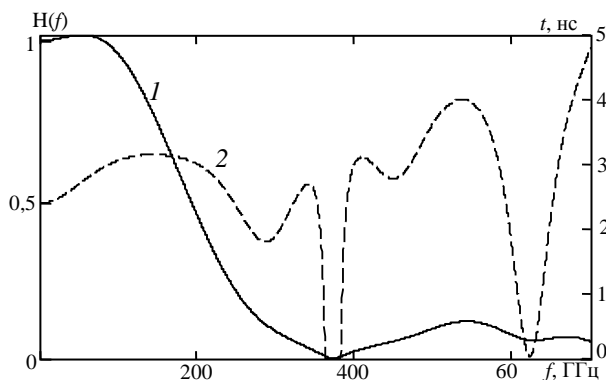


Рис. 3. модуль передаточной функции исследуемого осциллографа (кривая 1), групповое время запаздывания (кривая 2)

В качестве тестовых импульсов рассмотрим 3 формы импульсов, длительностью 100 нс: трапецевидный, гауссовский, импульс экспоненциальными фронтами [3]. Зададим импульсы с соответствующей для референсного осциллографа частотой дискретизации и найдем отклик системы на каждый из этих импульсов, для этого воспользуемся формулами (3, 4).

$$S(\omega) = F[s_1(t)]H(\omega)\exp(i\omega\tau), \quad (3)$$

$$S(t) = F^{-1}[S(\omega)]. \quad (4)$$

где  $F[s_1(t)]$  – прямое преобразование Фурье сигнала  $s_1(t)$ , измеренного референсным осциллографом,  $F^{-1}[S(\omega)]$  – обратное преобразование Фурье спектра сигнала.

Полученные отклики регистрирующего устройства и поданные на него импульсы приведены на рисунке 4. Оценка искажений приведена для участков разностного сигнала импульса в пределах 20...80% времени нарастания и спада по фронтам импульса, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значение отклонения в %

Форма импульса	Значение отклонения, %	
	перед. фр.	Задний фр.
Трапецевидный	0,0013	0,001
Гауссовский	0,026	0,036
Имп. с экспоненц. фронтами	0,02	0,02

Согласно проведенному выше математическому моделированию отклика системы на заданный один из 3 возможных вариантов импульсов, с минимальными искажениями формы импульса являются импульсы имеющие участки линейного возрастания или плавного нарастания по экспоненте, а в случае гауссовского импульса имеют наибольшее отклонения по фронтам импульса.

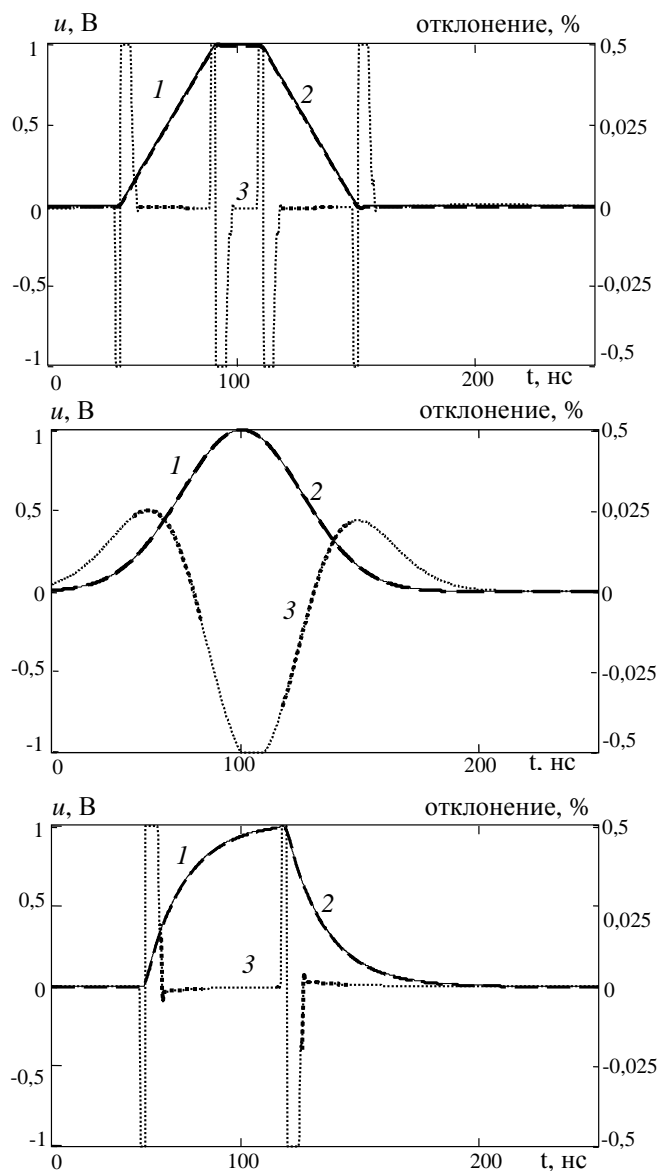


Рис. 4. импульсы с выхода генератора (кривая 1), измеренные с помощью регистрирующего осциллографа (кривая 2), разностный сигнал (кривая 3), (трапецевидный, гауссовский, имп. с экспоненц. фронтами)

#### Литература

1. Описание программы UWB-CAP (Электронный ресурс) URL (режим доступа): [http://edwardsemyonov.narod.ru/nonlinearitu/wb-cap\\_en.html](http://edwardsemyonov.narod.ru/nonlinearitu/wb-cap_en.html), свободный (дата обращения 30.05.2013).

2. Абсолютная калибровка сверхкороткоимпульсного измерителя нелинейных характеристик цепей (Электронный ресурс) URL (режим доступа): <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/> /2013-29-3/038.pdf, свободный (дата обращения 20.09.2013).

3. Отузбаева Д.К. Калибровка в сверхширокополосных нелинейных измерениях РЗИ 1203 Промежуточный отчет о выполнении инновационного проекта. ТУСУР, 2012 – 30 с.